

## 〔総説〕 センニンコクの食品栄養学

— 低利用食糧資源の再評価と開発 —

小 西 洋太郎

## Chemical and nutritional aspects of grain amaranths for food uses

— Reevaluation and development of the underexploited food resources —

YOTARO KONISHI

## 目 次

- I) はじめに
- II) 歴史のなかのセンニンコク
- III) 植物分類学
- IV) センニンコク種子の解剖学
- V) 化学的組成
  - 1) タンパク質およびアミノ酸
  - 2) 脂質
  - 3) 炭水化物
    - a) 澱粉
    - b) 可溶性糖
  - 4) ビタミンとミネラル
  - 5) 反栄養因子
- VI) センニンコクの栄養学的評価
- VII) 今後のセンニンコクの利用法
- VIII) 克服すべき問題点
- IX) おわりに

## I) はじめに

世界における栽培植物（林木や観賞用植物は除く）の種類は約2000あり、そのうち約半分は食用植物であるといわれる。人類はかつてこれらを巧みに調理・加工し、非常にバラエティに富んだ食事をしていたが、商業、経済の発展とともに、少数の換金作物に依存するようになった<sup>1)</sup>。そして、現在では、図1に示すように、人間は摂取カロリーとタンパク質の大部分を約30種類の植物性食品——小麦、米、トウモロコシ、大麦などの穀類および雑穀類、ジャガイモ、サツマイモ、キャッサバなどの根

菜類、大豆、ピーナッツ、エンドウなどの豆類、その他、バナナ、砂糖きびなど、——に依存している<sup>2)</sup>。このような少数の作物に依存する傾向は今後も続くものとみられる。世界の50億の人間がこのわずか30種類の作物に依存していること事態きわめて驚異的であるが、予想される世界人口の増加を考えると、高い危険性をはらんでいる。

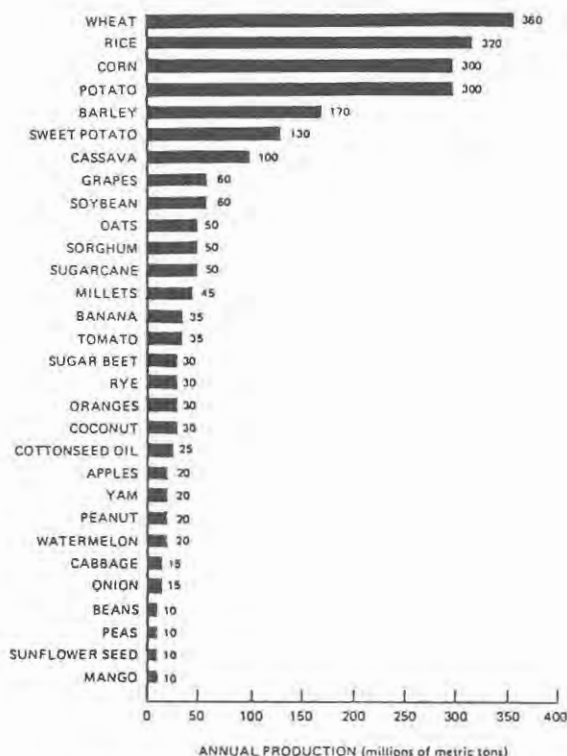


図1 世界の主要作物30種（文献2より引用）

というのは、その少数のうち一つでも不作に陥ると、食糧を戦略とした政策がとられ、食料自給率の低い国々の生活経済を脅かすことになるし、ひいては、数百万人の飢餓を意味するからである。

人類はその歴史のなかで多数の栽培作物を創造してきたが、その過程で忘れ去られたり、隅においやられた栽培作物もあることも事実である。これらの未利用、あるいは低利用の植物資源に再度注目し、それらを有効に利用しようとする試みはきわめて重要なテーマである。すなわち、食品あるいは食料資源を多様化することは、食生活を豊かにするだけでなく、飢餓対策や食糧対策につながる。アメリカのNational Academy of Scienceは、世界で最も低所得者層が集中している熱帯地域の人々の生活の質的向上をはかるために、将来特に有望と思われる36種の植物資源をリストアップした<sup>3)</sup>。そのなかには、本総説でとりあげる双子葉類ヒユ属で、擬禾（ぎか）穀物の一つ、センニンコク（Grain amaranths, 仙人穀）もふくまれている。この植物の種子はタンパク質中のリジン含量が高く、栄養価が非常に高い。

センニンコクに関する植物学<sup>4,5)</sup>、農学<sup>6)</sup>、遺伝育種学<sup>7-10)</sup>、食品学<sup>11-13)</sup>の立場から紹介された総説および一般的解説<sup>14-18)</sup>があるが、ここではセンニンコクの食品学および栄養学的見地から、これまでの研究成果、現状および展望を、著者の興味（特に、澱粉とタンパク質）を中心に紹介したい。

## II) 歴史のなかのセンニンコク

人類がセンニンコクを栽培化した歴史は紀元前にさかのぼり、その原産地は中南米と言われている<sup>4,5)</sup>。この穀物は、500年前アステック族にとってトウモロコシや豆類とともに重要な食糧であった。16世紀前半、キリスト教の布教を大義名分に侵略してきたスペイン人は、センニンコクがアステック族の宗教儀式（いけにえ）に使われていたことに衝撃を受け、この穀物の栽培を禁止した<sup>14)</sup>。トウモロコシと豆類がその後世界の食糧源の重要な地位を確保したのとは対照的に、センニンコクは忘れ去られたものとなった。しかし、その後、新大陸から旧大陸へ伝わり、インド、パキスタン、中国南部、ネパールなどの高地で、他の雑穀類とともに、自給自足用として小規模ながら栽培されてきた<sup>4,5)</sup>。

では、センニンコクはどのように利用されてきたのであろうか。ネパールでは、全粒をそのまま粥（sattoo）として利用してきた。インドでは米に混ぜて炊く。また、センニンコク穀粒は、熱した鉄板や石板の上で煎るとポップコーンのようにはぜるので、これにハチミツを加え固

めたお菓子をつくる。インドでは、このお菓子をladdoos、メキシコでは、alegríaと呼ばれている。ラテンアメリカやヒマラヤ地方では、それぞれの伝統的家庭料理であるトルティーヤ、あるいはチャパティの作り方を模倣して、センニンコクの粉から非発酵性の薄いパンを焼く。中国雲南地方では“紅米”あるいは“粟米”とよばれ栽培されている<sup>19)</sup>。このように、それぞれの地域の食習慣にうまくとりいれられたり、独自の調理法が創造されてきた。日本では残念ながら、あまり普及しなかったが、秋田県ではトラノヲウ（虎の尾の意？）と呼ばれ食用にされていたという<sup>20)</sup>。

1973年、Downton<sup>21)</sup>が、センニンコクのタンパク質には必須アミノ酸リジン含量が牛乳タンパクに匹敵するほど高いことを報告して一躍注目を集めた。過去10年間、主としてアメリカを中心に、センニンコクの食品学、栄養学、遺伝育種、および農学的研究が積極的になされ、この古代の穀物が将来の食糧・飼料源としての潜在的価値が高いという評価を得るに至った。その特徴を要約してみよう。この植物は、CO<sub>2</sub>固定の効率がいよC<sub>4</sub>植物なので生長がはやい、かんばつ、害虫に強く、栽培が比較的簡単である。栽培密度は1ヘクタールあたり320,000苗まで可能であり、また、1ヘクタールあたり1トン以上という穀粒の収量は主要穀類の収量とかわらない。さらに、他の種（species）間の交雑がおこりやすいので、育種の研究に適している。穀粒のタンパク質含量は約16%で、コメ（7~10%）、小麦（12~14%）、トウモロコシ（9~10%）に比べて高い。しかも、既述したように、リジン含量も高いので、栄養価は優れている。さらに、ビタミンC、スクアレンが多くふくまれるなど、他の穀粒にはみられない特徴を示す。

## III) 植物分類学

アメリカの地理学者Sauer<sup>4,5)</sup>によると、ヒユ属（Amaranthus）には約60種（species）あり、そのうち12種が栽培種で、穀粒を利用するタイプ（Grain amaranths）と、葉を野菜として利用するタイプ（Vegetable amaranths）に区別されている。残りは野生種（雑草）である。

### 1) Grain amaranths（穀粒タイプ）

主なものは、*A. caudatus* (*A. edulis* Spr.), *A. cruentus* (以上図2参照), *A. hypochondriacus*の3種である。葉も食用になる。これらの地理的起源を表1記しておく。*A. caudatus* (和名: ヒモゲイトウ, 中国語名: 尾穗莧) はアンデス地方が原産地で、現在でも栽培されている。*A. cruentus* (スギモリケイトウ) はメ



図2 *Amaranthus caudatus* (左)と*Amaranthus cruentus* (右) (出典：文献6)

表1 ヒユ属のいくつかの種，用途，地理的起源<sup>a)</sup>

種 <sup>b)</sup>	用 途	地理的起源
栽培種:		
<i>A. blitum</i> ( <i>A. lividus</i> , <i>A. oleraceus</i> )	野菜，観葉植物	アジア
<i>A. caudatus</i> ( <i>A. edulis</i> Spr.)	穀粒，野菜，観葉植物	アンデス
<i>A. cruentus</i> ( <i>A. paniculatus</i> )	穀粒，野菜	グアテマラ
<i>A. dubius</i>	野菜	南米
<i>A. hybridus</i>	野菜	南米
<i>A. hypochondriacus</i> ( <i>A. flavus</i> , <i>A. leucocarpus</i> , <i>A. leucosperma</i> )	穀粒，野菜	メキシコ
<i>A. tricolor</i>	野菜，観葉植物	アジア
野生種:		
<i>A. retroflexus</i>	野菜	北米
<i>A. spinosus</i>	野菜	アジア
<i>A. viridis</i>	野菜	アフリカ

a) 文献12を一部改変した。

b) ヒユ属植物の分類法は研究者によって必ずしも統一されていない。文献4, 5, 11, 16を参照されたい。

キシコ、グアテマラが原産地である。*A. hypochondriacus* は3種のなかで最も環境に適応力があり、穀粒の収量が高く、おそらく最も食品に適しているといわれている。現在、インドが最大の栽培地である<sup>6)</sup>。スペイン人が新大陸から持ち帰った*A. hypochondriacus*は、はじめは観賞用だったらしい。しかし、18世紀頃、中部ヨーロッパ、ロシアではMinor cropとして栽培されていたといわれる。また、アフリカ、アジアに伝播した時期は19世紀初め頃までといわれている。

## 2) Vegetable amaranths (野菜タイプ)

主なものは、*A. cruentus*, *A. dubius*, *A. hybridus*, *A. lividus*, *A. tricolor* (ハゲイトウ、雁来紅) などである。人間がこれらのVegetable amaranthsを利用していた歴史は古く、例えば、*A. dubius*, *A. tricolor* は、インド、中国、東南アジア、南太平洋諸島では2000年以上にわたって栽培され、葉を野菜(煮野菜)として利用されてきた。日本でも、ヒユナと呼ばれ利用された。葉はビタミン、ミネラルが豊富だけでなくタンパク質も比較的豊富である。アフリカのある地域では、1日の摂取タンパクの25%がこのVegetable amaranthsから供給されているという<sup>6)</sup>。また、葉から抽出される赤い色素は、食品の着色に以前から汎用されてきたが、最近、ベタシアニン系のAmaranthineが単離され、構造解析された<sup>22)</sup>。Vegetable amaranthsについての詳しい情報は文献<sup>11-13)</sup>を参考されたい。

## 3) Weedy amaranths (雑草タイプ)

*A. viridis* (アオビユ), *A. spinosus* (ハリビユ), *A. retroflexus*, *A. hybridus*が知られている。短期間に種子を一定の箇所に成熟させる栽培種と異なり、こ

れらは種子を植物体のあらゆる場所に実らせ、シーズン中ずっと種子を蒔き散らす。しかし、*A. hybridus*は、栽培種の育種の際の片親としてしばしば使われる<sup>6-10)</sup>。

## IV) センニソク種子の解剖学<sup>23)</sup>

完熟種子は、非常に小さく直径1~1.5mmで凸レンズ状をしている。種皮の色はGrainタイプは黄白色、Vegetableタイプは赤色あるいは黒色である。1000粒の重量は0.6~1gである。種子の形態図を図3に示す。種子は、便宜上、germ (胚/bran (ふすま) (重量の28%) と perisperm (外胚乳) (重量の72%) に分けられる。前者はタンパク、脂質、ビタミン、ミネラルに富み、後者は澱粉質に富む。タンパク質はタンパク顆粒として存在する。

## V) 化学的組成

センニソク種子の一般分析 (Proximate analysis) 値を表2に示す。他の穀類と比較して粗タンパク含量が高い。粗脂肪、粗繊維も比較的多い。熱量は約360kcal/100gで、他の穀類と同程度である<sup>11)</sup>。

### 1) タンパク質およびアミノ酸

粗タンパク量を求めるのに必要な窒素・タンパク換算係数は研究者のあいだで一定していない。Beckerら<sup>24)</sup>は5.85、Carlsonら<sup>25)</sup>は5.2~5.6、他の研究者は6.25を提唱している。いずれの係数を用いても、センニソクの粗タンパク量は、主要穀類(米、小麦、大麦、トウモロコシ)に比べ高い。

アミノ酸組成は、主要穀類と比較して、リジン、トリプトファンが多く、逆に少ないのがロイシンで第一制限

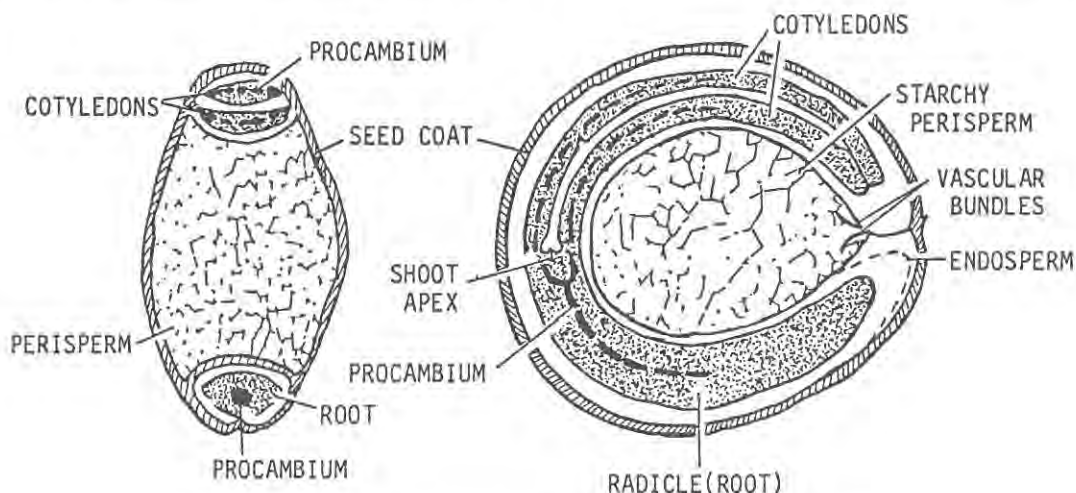


図3 *Amaranthus cruentus* 種子の形態図 (文献23より引用)

表2 センニンコクおよび数種の穀類の一般成分値(%)

	水分	粗タンパク	粗脂肪	粗繊維	灰分
センニンコク <sup>a)</sup>	6.7~9.7	15.7~18.2	6.2~8.0	3.4~5.3	2.8~3.8
小麦 <sup>b)</sup>	12.5	12.3	1.8	2.3	1.7
トウモロコシ <sup>b)</sup>	13.8	8.9	3.9	2.0	1.2
コメ <sup>b)</sup>	12.0	7.5	1.9	0.9	1.2
モロコシ <sup>b)</sup>	11.0	11.0	3.3	1.7	1.7
大麦 <sup>b)</sup>	9.8	11.6	2.0	2.4	2.1
オート麦 <sup>b)</sup>	8.3	16.2	6.4	1.9	1.9

a) 文献24,

b) 文献13より引用

表3 センニンコクおよび数種の穀類の必須アミノ酸組成(g/100gタンパク)<sup>a)</sup>

	Trp	Met+Cys	Thr	Ileu	Val	Lys	Phe+Tyr	Leu
センニンコク	1.3	4.3	3.3	3.4	4.1	5.2	7.0	5.2
小麦	1.3	4.0	2.6	3.5	4.5	2.8	6.9	6.7
トウモロコシ	0.7	4.3	3.3	3.5	4.9	3.0	7.8	12.4
モロコシ	1.1	3.7	2.7	4.1	5.5	2.0	8.6	13.7
オート麦	1.3	4.7	3.5	4.0	5.5	4.0	8.9	7.8
コメ	1.0	3.0	3.7	4.5	6.7	3.8	9.1	8.2
FAO/WHO	1.0	3.5	4.0	4.0	5.0	5.5	6.0	7.0

a) 文献13と61から抜粋，一部改変した。

アミノ酸になっている(表3)。したがって、全体的にバランスがよく、栄養価は高い。さらに、植物性食品のNPU(Net Protein Utilization)の指標になるアルギニン+リジン/プロリン比は3.4であり、コメのタンパク(4.0)に近い。その他の穀類ではその値は1以下である<sup>13)</sup>。センニンコクのタンパク質の栄養価については後で詳しく述べる。

ところで、センニンコクのタンパク質の分布や性質に関する研究はあまりなされていない。たとえば、水、塩溶液、アルコール、アルカリ溶液に対する溶解性を基準にしたタンパク質の分布については、過去にAbdiとSahib<sup>26)</sup>によって報告されているのみである。そこで、著者らは再検討したところ、彼らの結果とは異なる結果を得たので以下に紹介したい<sup>27)</sup>。

Landry-Moureauxの方法<sup>28)</sup>でタンパク質の分画を試みた結果、アルブミン(A)+グロブリン(G)+非タンパク態窒素画分が全窒素の約60%を占め、プロラミンは痕跡程度しか存在しなかった(表4)。このようなタンパク質の組成は、分類学上近縁のタデ科植物であるソ

バ(*Fagopyrum esculentum* Moench)のタンパク質組成と酷似している。この結果はAbdiとSahibの結果と一致しているが、A:G比は著者らの結果では1:2.5であったのに対し、彼らの結果では、3.5:1と逆転していた。次に、グロブリン画分に高分子のタンパク質が存在することが超遠心分析でわかったので、これを単離、精製した。精製標品の沈降係数は12.7S(図4参照、ゲルろ過法による分子量は440,000)で、少なくとも4種のサブユニット(各々の分子量は、36,000;32,000;20,000;18,000)で構成されていることがわかった。また、等電点(pI=5.2)およびアミノ酸組成は、大豆やオート麦のグロブリンと類似していた(表5)。

種子の貯蔵タンパクは、種子の発芽の際、窒素源、炭素源として利用されるタンパクとして定義づけられ、量的に多く存在することはもちろん、一般にプロラミンやグロブリンなどのように水に不溶性で、高分子量であることが多い。したがって、植物生理学的にみて、センニンコク種子の貯蔵タンパクはグロブリンであろうと考えられる。



表4 センニンコク、トウモロコシ、ソバのタンパク質の分布<sup>a)</sup>

	(脱脂試料の全窒素量に対する%)					
	トウモロコシ <i>su<sub>2</sub></i> <sup>b)</sup>	<i>su<sub>2</sub> O<sub>2</sub></i> <sup>b)</sup>	<i>A.hypochondriacus</i> モチ	ウルチ	<i>A.caudatus</i>	ソバ
アルブミン+グロブリン+ 非タンパク態窒素	26.2	37.0	56.9	59.4	69.2	73.2
プロラミン	29.4	8.6	1.0	0.6	2.7	1.0
プロラミン様タンパク	12.0	8.4	0.6	0.4	0.4	0.3
ゲルテリン様タンパク	6.5	7.8	6.6	6.9	5.9	4.6
ゲルテリン	17.2	27.2	15.8	22.5	15.4	18.2
残渣	8.5	8.5	8.5	12.6	11.2	3.6
回収率 (%)	(99.8)	(97.5)	(89.4)	(102.4)	(104.8)	(100.9)
全窒素(mg/g脱脂試料)	15.2	16.3	28.5	26.0	25.2	21.9

a) 文献27より b) *su<sub>2</sub>*, sugary-2; *su<sub>2</sub> O<sub>2</sub>*, sugary-2 opaque-2変異株

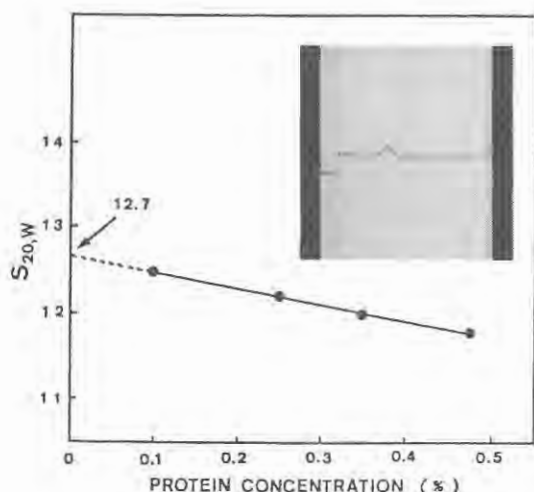


図4 *A. hypochondriacus* 精製グロブリンの沈降係数の測定<sup>a)</sup>

各種濃度の精製グロブリンの20℃における沈降係数 ( $S_{20,w}$ ) を測定し、濃度ゼロに外挿した。写真はグロブリンの沈降プロフィールを示す。a) 文献27より

表5 種子グロブリンのアミノ酸組成<sup>a) b)</sup>

アミノ酸	センニンコク	大豆	オート麦
Asx	10.1	11.8	9.2
Thr	4.1	4.2	4.1
Ser	8.6	6.6	7.0
Glx	16.6	18.8	19.1
Pro	5.4	6.3	4.9
Gly	9.2	7.8	7.5
Ala	6.2	6.7	6.0
Cys	0.9	1.1	1.1
Val	6.1	5.6	6.4
Met	1.2	1.0	0.9
Ile	5.2	4.6	4.8
Leu	7.5	7.2	7.4
Tyr	2.7	2.5	3.5
Phe	5.3	3.9	5.2
His	2.8	1.8	2.2
Lys	3.7	4.1	2.9
Arg	7.9	5.9	6.6

a) 文献27より

b) モル%として表示

種子のグロブリンの構造、物理化学的および機能的性質に関する研究は大豆において詳しい<sup>29)</sup>が、センニンコクに関してはほとんどなされていないのが現状であり、今後の成果が待たれる。

## 2) 脂質

粗脂肪含量は6～8%である。そのほとんどが遊離脂質（大部分はトリグリセリド）であり、結合性脂質は総脂質の約10%程度である。遊離脂質の脂肪酸組成は、

リノール酸 (C18:2) が約50%, オレイン酸 (C18:1) が約25%, パルミチン酸 (C16:0) が約20%, ステアリン酸 (C18:0) が約5%, リノレン酸 (C18:3) が約1%であり<sup>24,30)</sup>、トウモロコシ油とほぼ同じ組成である。しかし、センニンコクの種による脂肪酸組成

の変動がみられる<sup>31)</sup>。不飽和脂肪酸は総脂肪酸の75%を占め、綿実やコメの胚芽油とはほぼ同じである。スクアレンはステロイド合成の原料であるが、5～8%含まれる<sup>11, 24, 31)</sup>。

### 3) 炭水化物

#### a) 澱粉

イネ科植物の場合、澱粉粒は種子の内胚乳(3n)に蓄えられるが、センニンコクの場合は外胚乳(2n)に蓄えられる。澱粉含量は種子重量の約60%である。*A. hypochondriacus*の澱粉粒は角ばっているが、*A. cruentus*の澱粉粒は表面が滑らかな球状をしている<sup>32)</sup>。いずれの澱粉粒もサイズは非常に小さい(直径1～3 $\mu$ m)。したがって、表面積が大きいので、糊化されやすく、また $\alpha$ -アミラーゼやグルコアミラーゼによって、たとえばトウモロコシ澱粉粒よりも2倍速く分解される<sup>33, 34)</sup>。X線回折図形は穀類澱粉粒に特徴的なA型を示す<sup>33, 34)</sup>。

Lorenz<sup>32)</sup>は、小麦澱粉と比較して、*A. hypochondriacus*の澱粉粒は、低いアミロース含量、低い膨潤力、高い溶解性、高い水結合能、低い粘性(アミログラフによる)、高い糊化開始温度(62°C)などの性質を報告している(表6参照)。しかし、トウモロコシ澱粉と比較すると、*A. hypochondriacus*および*A. cruentus*の澱粉は高い膨潤力、低い溶解性、高い水結合能、高いアミログラフ粘性を示す<sup>35)</sup>。*A. hypochondriacus*の澱粉粒が非常に小さいこと、また、残存 $\alpha$ -アミラーゼ活性が認められること<sup>36)</sup>は、膨潤力、溶解性に大きく影響するので結果の解釈には注意を要する。

さらに、Lorenz<sup>32)</sup>はパン(発酵パン)を焼き、その性質を検討している。センニンコク(*A. hypochondriacus*)粉単独では、でき上がりはよくないが、小麦粉に20%まで添加しても、レオロジー的性質、テクスチャーは満足すべきものだったと報告している。

ところで、澱粉にはウルチ性(アミロースとアミロペクチンの2つの成分から成る)とモチ性(アミロペクチンのみから成る)がある。ヨウ素液で染色すると、ウルチ性澱粉は青紫色に、モチ性澱粉は赤褐色を呈する。モチとウルチは、単子葉類イネ科植物では、イネ(*Oryza sativa* L.)、大麦(*Hordeum vulgare* L.)、トウモロコシ(*Zea mays* L.)、アワ(*Setaria italica* P. Beauv.)、モロコシ(*Sorghum bicolor* (L.) Schum.)などにみられる。センニンコクの澱粉に関する初期の研究では、モチ性であったと記載されている<sup>37-39)</sup>が、興味深いことに、その後、*A. hypochondriacus*にはモチ性とウルチ性が存在することがわかった<sup>33, 34, 40)</sup>(表7参照)。このような例は双子葉植物ではセンニンコクがはじめて

表6 センニンコクおよび小麦の澱粉の物理化学的性質

		Starch	
		Wheat	<i>A. hypochondriacus</i>
Amylose content(%)		22.2	7.2
Amylograph viscosities (B.U.)			
	at peak	350	320
	at 92°C	270	260
after 30 min	at 92°C	340	260
on cooling	to 35°C	510	280
after 60 min	at 35°C	810	320
Swelling Power			
	at 60°C	4.77	1.02
	at 70°C	6.13	1.51
	at 80°C	8.28	3.44
	at 90°C	11.80	3.53
Solubility(%)			
	at 60°C	1.67	9.12
	at 70°C	2.35	14.21
	at 80°C	2.48	32.76
	at 90°C	8.21	37.43
Water binding capacity(%)		71.8	127.3
Gelatinization temperature range(°C)			
	initial	52	62
	midpoint	55	64
	final	56	68

文献32より引用

であろう。その遺伝形式は奥野ら<sup>41)</sup>によって、最近明らかにされた。すなわち、澱粉の性質はモチ遺伝子(*wx*)とウルチ遺伝子(*Wx*)の一对の対立遺伝子で決定され、*Wx*は*wx*に対して優性で、メンデルの法則が成り立つ。以下で*Wx*遺伝子とアミロースの生合成との関係について少し触れてみたい。

筆者ら<sup>42, 43)</sup>は、*A. hypochondriacus*のホモのウルチ(*Wx/Wx*)、ヘテロ(*Wx/wx*、自然交雑由来)、ホモのモチ(*wx/wx*)種子澱粉粒のアミロース含量をイソアミラーゼ-ゲルろ過法で分析した結果、それぞれ順に、17%、11%、0%であり、アミロース含量は*Wx*遺伝子の数で決定されることがわかった。(アミロペクチンの単位鎖の分布は*Wx*遺伝子によって影響されない。)さらに、前者2つの澱粉粒の抽出液中に分子量68,000の*Wx*-タンパクが存在することをSDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法で同定し、そのタンパク量はアミロース含量と比例することをみだした(図5)。*Wx*-

表7 センニンコクおよびその他の穀類のウルチ、モチ澱粉のアミロース含量とアミロペクチンの鎖長分布<sup>a)</sup>

試 料	Fr.I	中間区分 (全炭水化物量に対する%)	Fr.II	Fr.III	III/II比
<i>A. hypochondriacus</i> <sup>b)</sup>					
ウルチ	14.4	4.3	18.1	63.3	3.5
モチ	0	5.0	21.4	73.6	3.4
イネ <sup>b)</sup>					
ウルチ	15.6	3.3	18.9	62.2	3.3
モチ	0	4.6	22.3	73.1	3.3
トウモロコシ <sup>b)</sup>					
ウルチ	27.7	2.0	13.8	56.5	4.1
モチ	2.9	2.0	20.7	74.4	3.6
キビ <sup>c)</sup>					
ウルチ	28.4	3.7	14.5	53.4	3.7
モチ	0	1.5	22.8	75.7	3.3

a) 澱粉のイソアミラーゼ分解物をセファデックスG-75カラムにかけた後、Fr. I～IIIをヨウ素呈色反応の最大吸収波長で区分した。Fr. Iはアミロースを示す。Fr. IIとIIIはアミロペクチン部分の単位鎖を示し、各々の平均鎖長は約45、約15である。b) 文献34。c) 文献33より抜粋した。

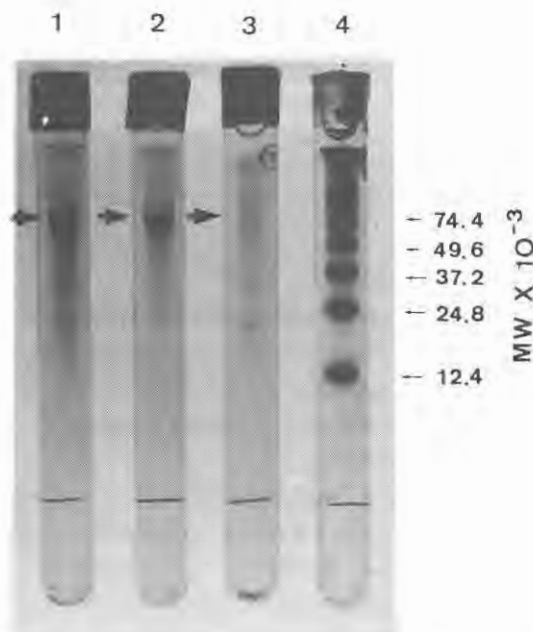


図5 *A. hypochondriacus* の澱粉粒から抽出したタンパクのSDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動パターン<sup>a)</sup>

a) 文献42より引用。レーン(1), Wx/Wx ; (2), Wx/wx ; (3), wx/wx ; (4), 分子量マーカー。矢印は分子量 68,000のWx-タンパクで、(1)と(2)には検出されるが、(3)には検出されない。

タンパクはアミロースの生合成に関与していると考えられている澱粉粒結合型澱粉合成酵素 (EC 2. 4. 1. 21) であり、他の植物起源のウルチ性澱粉粒で同定されている<sup>44-46)</sup>。

Vos-Scheperkeuter<sup>47)</sup>らは、ジャガイモのWx-タンパクは、トウモロコシおよび*A. hypochondriacus*起源のものと同様に免疫化学的にHomologousであるという興味深い報告をしている。詳細は今後の成果を待たねばならないが、さまざまな植物起源の澱粉粒になぜアミロースが存在するのかという素朴な問いかけをするとき、アミロースの生合成酵素の遺伝子の構造は、植物の進化の過程できわめて保守的 (conservative) であった可能性は充分考えられる。

ところで、上述のアミロースとWx-タンパクとの関係が明確でない場合がある。すなわち、*A. caudatus*の澱粉粒は、イソアミラーゼゲルろ過法で調べた限りでは、すべての試料中に7%程度のアミロースがふくまれていたが、Wx-タンパクは検出されなかった (未発表データ)。トウモロコシにおいては、Wx遺伝子座、その遺伝子産物 (澱粉粒結合性澱粉合成酵素=Wx-タンパク)、およびアミロースとの関係は分子レベルで解明されつつある<sup>45, 48-50)</sup> すなわち、Wx遺伝子座がアミロースの生成を支配していることは疑いもないが、染色体上



を自由に渡り歩く遺伝子 (Transposable gene) が Wx 遺伝子座に挿入されると、いくつかの変異が生じる。変異した Wx 遺伝子座は Wx-タンパクの合成を減じたり、あるいは停止したりして、アミロースの生成量が調節される。著者らが *A. caudatus* において遭遇した矛盾する現象にはこのような Transposable gene が関与しているのかも知れない。

#### b) 可溶性糖

穀類の種子が成熟すると、一般に、グルコースやフルクトースのような単糖はほとんど存在しなくなる。10種類以上のセンニンコクについて調べた Becker らの結果<sup>24)</sup> もこれを支持している。ショ糖は平均 1.65% ふくまれ、可溶性糖のなかでは最も多い。ラフィノース (0.84%) と遊離イノシトール (0.08%) は他の穀類と同じレベルである。種子の貯蔵中に澱粉の酵素的分解で生じたと考えられるマルトースも少量検出される。なお、pH 5 における自己消化実験の生成物の分析結果から、成熟種子中にはフィチン酸分解酵素やショ糖分解酵素の存在が示唆されている。

#### 4) ビタミンとミネラル

ビタミンは胚部分に濃縮されている<sup>11)</sup>。表 8 に示すように、センニンコク種子にはアスコルビン酸はふくまれるが、 $\beta$ -カロチンはふくまれない。その他のビタミン含量は主要穀類と同じレベルである。ミネラルでは、Ca と Mg が比較的多いのが特徴であるが、これらは水に不溶性のフィチン態で存在しているらしい。精白試験で、Cu, Fe は胚部分に、Ca, Na, Mn は種皮部分に局在していることがわかった<sup>11)</sup>。

### V) 反栄養因子

センニンコク種子にはサポニン、フィチン酸、タンニン、トリプシン・インヒビターなど、いくつかの反栄養

因子が存在するが、いずれも量的には低く、栄養的には問題はない<sup>6,11)</sup>。

フィチン酸含量は 0.52~0.61% で、コメより高く、トウモロコシ、小麦より低い<sup>51)</sup>。タンニン (タンパクと結合し、消化を妨げる) は、0.043~0.116% (カテキン当量) 含まれ、モロコシより低い<sup>51)</sup>。*A. cruentus* 種子にはトリプシン・インヒビター (T I) 活性 (約 3.2 U/mgN) が認められるが、小麦穀粒 (約 28 U/mgN) より低く、しかも熱で失活する<sup>11)</sup>。しかし、*A. hypochondriacus* の種子では、熱に安定な (100℃, 7 時間処理でも 20% 活性が保持される) T I がみついている<sup>52)</sup>。赤血球凝集素の存在も報告されている<sup>53)</sup>。*A. caudatus* の凝集素は赤血球表面膜の  $\beta$ -ガラクトシル基に特異性を有し<sup>54)</sup>、最近、モノマーとして精製された<sup>55)</sup>。

### VI) センニンコクの栄養学的評価

これまで述べてきた一般分析 (Proximate analysis) の結果は、センニンコクがカロリーおよびタンパク質源として優れた食糧であることを示している。タンパク質の栄養価については多くの報告があるが、動物実験の結果は、飼料の調製法や用いたセンニンコクの species の違いなどが帰因してか、研究者間で必ずしも一致していない。以下にいくつかの研究結果を紹介する。

一般に、生の飼料では動物の成長応答はよくなく、加熱処理で改善される。Connor ら<sup>56)</sup> は、*A. edulis* (*A. caudatus*) の生穀粒飼料をラットに与えると、成長遅延、活動の衰え、チアノーゼ症、さらに肝細胞の変性が見られることを報告している。加熱した飼料群では、市販標準飼料群と同じ程度の体重増加、食餌摂取量を示した。彼らは、生穀粒には熱に不安定な毒素が存在するのではないかと推論している。反栄養因子については熱処理以外の検討もされている。たとえば、赤血球凝集素は塩溶

表 8 センニンコクおよび数種穀類のビタミン含量<sup>a)</sup>

	Riboflavin	Niacin	Ascorbic acid (mg/100g)	Thiamine	$\beta$ -carotene ( $\mu$ g/100g)
<i>A. cruentus</i>	0.19 ~ 0.12	1.2 ~ 1.4	4.5	0.07 ~ 0.10	0
<i>A. hypochondriacus</i>	0.29	1.1	2.8	0.25	—
小麦	0.17	5.5	0	0.45	64
トウモロコシ	0.10	1.8	0	0.42	90
モロコシ	0.13	3.1	0	0.37	47
コメ (精白)	0.06	1.9	0	0.06	0

a) 引用文献 (13)

液で抽出除去でき、除去した残渣を飼料として動物に与えた場合、未処理のものよりもタンパク効率が向上する<sup>57)</sup>。また、Garcíaら<sup>58)</sup>によると、成長遅延因子は脂肪を除去した生の穀粒中にも依然存在するという。CheekeとBronson<sup>59)</sup>は数種のセンニンコクについて調べた結果、生穀粒食群では、平均体重増加率が加熱処理群の約63%であったという。彼らはその原因はサポニンやフェノール系物質が関与した嗜好 (palatability) の問題としている。

以上のような結果に対し、生の飼料であっても、タンパク質効率、生物価は加熱処理済み飼料とあまり変わらないという報告もある。Betschartら<sup>60)</sup>は、*A. cruentus* 穀粒を基本食 (10%タンパク質レベル) でタンパク質効率比 (P E R) を調べた。コントロール (生穀粒) のP E Rは1.5 (カゼイン食は2.5) で、みかけのタンパク消化率は76% (カゼイン食は93%) であった。ポップさせた飼料のP E Rは1.7であり、コントロールと有意差はなかった。Pedersenら<sup>61)</sup>は、*A. caudatus* の生穀粒のタンパク質の消化率および生物価は、それぞれ87%、85%と高く、クッキング (ポップ、フレーク、トースト) による影響はなかったという。しかし、Pant<sup>62)</sup>は、ポップの仕方 (おそらく過熱?) によっては有効性リジン含量が減少し、タンパク質効率が悪くなることを観察している。

ところで、Afolabiら<sup>63)</sup>によると、*A. caudatus* を90℃、一夜乾燥処理したにもかかわらず、ラットの体重の減少がみられたという。その原因は、飼料中のタンニン (0.25%) の影響ではないかと考察している。しかし、そのタンニン含量は決して高いものではなく、飼料の摂取量が減少していることから、調製法に問題があったの

かもしれない。

センニンコクの主要穀類への補足効果についての研究も盛んにおこなわれている。たとえば、トウモロコシ・タンパクとの混合食によって生物価は100近くに向上するし、また、コメとのブレンド (1:1) はF A Oの推薦基準に近づく<sup>13)</sup>。Pedersenら<sup>64)</sup>の結果によると、トウモロコシ、小麦、モロコシそれぞれにセンニンコク粉を50%まで添加したブレンドでは依然リジンが制限アミノ酸であるが、アミノ酸スコア、生物価は著しく高くなる (表9)。

センニンコク粉を補足してつくったトルティーヤ<sup>65)</sup>あるいはパン<sup>32, 66)</sup>、また、エクストルージョン・クッキング<sup>67)</sup>へ応用した結果は、これらの製品が栄養価のみならず、風味、香り、テクスチャーも優れていることを示しており、開発途上国での乳幼児の栄養改善策に貢献している<sup>68, 69)</sup>。

最後に、脂肪および微量金属の栄養価について少し触れる。Garcíaら<sup>70)</sup>は、センニンコク油脂 (ヘキサン抽出物) の栄養価を調べた結果、綿実油より消化率は低い、動物の成長には影響はなかったと報告している。また、Pedersenら<sup>61)</sup>によるとセンニンコクの中のフィチン酸:Zn比が高いので、Znの生物学的利用率は悪いという。

## Ⅶ) 今後のセンニンコクの利用法

National Academy of Science<sup>6)</sup>が紹介しているセンニンコクの利用法を列記すると—ピラフ、パンケーキ、Breakfast cereals、パン、クレープ、プディング、クッキーおよびクラッカー、トッピング (ケーキの上にふりかけるもの)、飲料、スープ、など多岐にわたる。

表9 センニンコクの他の穀物への補足効果

Cereal/amaranth weight ratio	Maize		Wheat		Sorghum	
	100/0	50/50	100/0	50/50	100/0	50/50
Protein(Nx6.25)%	10.0	12.2	13.2	13.8	12.6	13.6
Amino acid score	54	79	51	74	37	68
Food intake <sup>a)</sup> (g)	88.2	89.5	87.6	86.0	79.5	88.4
Weight gain <sup>a)</sup> (g)	12.2	17.9	11.5	19.9	9.2	16.4
TPD <sup>b)</sup> (%)	90.3	90.3	89.3	89.5	91.7	87.4
BV <sup>c)</sup>	66.8	78.3	62.4	75.7	64.1	70.3
NPU <sup>d)</sup>	60.3	70.7	55.6	67.7	49.5	61.5

文献64より抜粋、著者が改変

a) 9日間飼育; b) True protein digestibility; c) Biological value; d) Net protein utilization

また、家庭での調理法についても具体的に紹介されている<sup>18)</sup>。今後ますます、センニンコクの特性を生かした利用法が創造されていくものと期待される。たとえば、日本人の食生活にセンニンコクをとり入れるとすれば、モチ性、ウルチ性澱粉の特性を生かして、麺、おかき、餅などに利用できるかもしれない。

食品以外への応用も検討されている<sup>17)</sup>。たとえば、スクアレンはステロイド系薬品の原料として貴重であるが、従来、鮫の肝臓から抽出されており、現在、1リットルあたり90ドルで取引されているという<sup>17)</sup>。センニンコク種子から抽出する計画案もあるが、具体化されていない。また、微細な澱粉粒は水の吸収性がよいので、非アレルギー性のエアゾールとして、また化粧用パウダーとして使われるかもしれない。さらに、植物体をエタノール発酵など、バイオマスの素材として期待されている。

### VIII) 克服すべき問題点

以上のように食品栄養学的にまた食糧源として評価が高いセンニンコクであるが、いくつかの問題点がある。すなわち、この種子はサイズが小さく、落実しやすいという欠点があり、また種子の完熟時期が植物体によって一定しないので、大規模で栽培、収穫する際、機械化に問題点がある。しかし、少なくともこの穀物自身に由来する欠点のあるものは、現在、育種レベルで克服されつつある<sup>6-11)</sup>。最近では、組織培養法<sup>71)</sup>で反栄養因子の少ない系統をつくる研究もされている<sup>72)</sup>。

一方、生産者側からすれば、この穀物がはたしてマーケットを確保し、農家経営に見合った採算がとれるのかという疑問もある。アメリカでは、現在(1986年)、数社がHealth food storeを介してセンニンコクを市場に出しているが、価格は高く、1ポンド0.8~1.5ドルだという<sup>17)</sup>。しかし、大手の農産加工業社が乗り出せば、価格は下がるであろうと予測されている。そのためには、安定した収量が得られることが必須であって、アメリカ・ペンシルベニア州にあるRodale Research Centerを中心に、さまざまな気象条件、土壌に適した品種づくりの研究が精力的におこなわれている。これに呼応して、アメリカの国際開発局は、いくつかの発展途上国においてセンニンコクの種々の環境条件下における適応性の試験研究を支援している。以上のような研究とは別に、植物と人間とのあいだの多様な相互関係を文化史の面で明らかにしてゆく民族植物学(Ethnobotany)的なアプローチも大切であろう<sup>6)</sup>。

### IX) おわりに

アメリカのセンニンコクの関係者は、国内ではこの穀物が小麦、トウモロコシ、大豆のような主要作物の座をおびやかすことはなく、経済性からみて重要な二次作物として評価している<sup>6)</sup>。すなわち、食文化はそう簡単に変えられるものではなく、すぐ明日にでもセンニンコクが一般家庭の食卓にでてくることは期待できない。というのは、アメリカ人が大豆を受け入れるのに100年かかったし、ヨーロッパ人がジャガイモを受け入れるのには200年かかったからである。

しかし、さまざまな食糧・栄養問題をかかえる発展途上国ではセンニンコクを積極的に自国の農業にとり入れ、栄養改善を計ろうとする姿勢を示している。現代の食糧・栄養問題は政治、経済をふくめたさまざまな角度から地球的視野でとりくむべきものであり、国際間の協力、とりわけ先進国の果たす役割は大きい。情報・科学技術の発達した今日、センニンコクをはじめこれまであまり利用されてこなかった植物資源を再評価し、その適材適所をみいだすのに長い時間を必要としないであろう<sup>6)</sup>。そして、その目的が達成されれば、少数の作物に依存する現在の世界食糧供給の弱点を軽減するものと思われる。

謝辞：センニンコクの澱粉およびタンパク質の研究を進めるうえでご指導くださり、また本稿をご校閲していただいた福山大学工学部・不破英次教授に深謝します。また貴重な助言、試料を提供くださった農林水産省奥野員敏博士に深謝します。末尾になりましたが、研究にご協力いただいた当研究室の野島宏子、文田(玉置)裕子、池田佳世子、芳本紀子の各氏に感謝いたします。

### 引用文献

- 1) ハーラン, J.R. (熊田恭一, 前田英三訳): 作物の進化と農業・食糧, 学会出版センター(1984)
- 2) Vietmeyer, N.D.: Science, 232, 1379 (1986)
- 3) ナショナル・アカデミー・サイエンス編: 21世紀の熱帯植物資源, 楽書房(1983)
- 4) Sauer, J.D.: Ann. Missouri Bot. Gard., 37, 561 (1950)
- 5) Sauer, J.D.: Ann. Missouri Bot. Gard., 54, 103 (1967)
- 6) National Research Council: Amaranth, Modern prospects for an Ancient Crops, National Academy Press, Washington, D.C. (1984)
- 7) Pal, M. and Khoshoo, T.N.: Grain Amaranths in "Evolutionary Studies in World

- Crops " ed. by Hutchinson, J.B., Cambridge Univ. Press, N.Y., P.129 (1974)
- 8) Hauptli, H. and Jain, S.K. : Theor. Appl. Genet., 52, 177 (1978)
- 9) Kulakow, P.A., Hauptli, H., and Jain S. K. : J. Heredity, 76, 27 (1985)
- 10) Kulakow, P.A. : J. Heredity, 78, 293 (1987)
- 11) Saunders, R.M. and R. Becker: Adv. Cereal Sci. Technol., 6, 357 (1984)
- 12) Teutonico, R.A. and Knorr, D. : Food Technol., 39, 49 (1985)
- 13) Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. : Int. J. Food Sci. Technol., 23, 125 (1988)
- 14) Marx, J.K. : Science, 198, 40 (1977)
- 15) 塩谷 格 : 作物のなかの歴史, 法政大学出版局, P. 169 (1977)
- 16) 小山鐵夫 : 資源植物学, 講談社, P.143 (1984)
- 17) Tucker, J.B. : Bioscience, 36, 9~13 (1986)
- 18) 琴 博志, 食品工業, 9月15日号, P.82 (1988)
- 19) 前川文夫, 湯浅浩史, 鈴木俊策, 田代道彌, 萩原秀三郎 : 雲南の植物と民俗, 工作舎, P.79 (1981)
- 20) 星川清親 : 新編食用作物, 養賢堂, P.413 (1983)
- 21) Downton, W.J.S. : World Crops, 25, 20 (1973)
- 22) Huang, A.S. and von Elbe, J.H. : J. Food Sci., 51, 670 (1986)
- 23) Irving, D.W., Betschart, A.A., and Saunders, R.M. : J. Food Sci., 46, 1170 (1981)
- 24) Becker, R., Wheeler, E.L., Lorenz, K., Stafford, A.E., Grosjean, O.K., Betschart, A.A., and Saunders, R.M. : J. Food Sci., 46, 1175 (1981)
- 25) Carlsson, R. : Proc. Amaranth Conf. 2nd, P.48 (1979)
- 26) Abdi, H. and Sahib, M.K. : J. Food Sci. Technol., 13, 237 (1976)
- 27) Konishi, Y., Fumita, Y., Ikeda, K., Okuno, K., and Fuwa, H. : Agric. Biol. Chem., 49, 1453 (1985)
- 28) Landry, J. and Moureaux, T. : Bull. Soc. Chim. Biol., 52, 1021 (1970)
- 29) Wright, D.J. : The Seed Globulins in "Developments in Food Proteins - 5", ed. by Hudson, B.J.F., Elsevier Applied Science, P.81 (1987)
- 30) Lorenz, K. and Hwang, Y.S. : Nutr. Rep. Int., 31, 83 (1985)
- 31) Lyon, C.K. and Becker, R., : J. Am. Oil Chem. Soc., 64, 233 (1987)
- 32) Lorenz, K. : Stärke, 33, 149 (1981)
- 33) Tomita, T., Sugimoto, Y., Sakamoto, S. and Fuwa, H. : J. Nutr. Sci. Vitaminol., 27, 471 (1981)
- 34) Sugimoto, Y., Tamada, K., Sakamoto, S., and Fuwa, H. : Stärke, 33, 112 (1981)
- 35) Stone, L.A. and Lorenz, K. : Stärke, 36, 232 (1984)
- 36) Yanez, G.A., Messinger, J.K., Walker, C.E., and Rupnow, J.H. : Cereal Chem., 63, 273 (1986)
- 37) Wolf, M.J., MacMasters, M.M., and Rist, C.E. : Cereal Chem., 27, 219 (1950)
- 38) MacMasters, M.M., Baird, P.D., Holzappel, M.M. and Rist, C.E. : Economic Bot., 9, 300 (1955)
- 39) Modi, J.D. and Kulkarni, P.R. : Acta Alimentaria, 5, 399 (1976)
- 40) 阪本寧男 : 澱粉科学, 29, 41 (1982)
- 41) Okuno, K. and Sakaguchi, S. : J. Heredity, 73, 467 (1982)
- 42) Konishi, Y., Nojima, H., Okuno, K., Asaoka, M., and Fuwa, H. : Agric. Biol. Chem., 49, 1965 (1985)
- 43) 野島宏子, 大阪市立大学生活科学部食物学科卒業論文 (1983)
- 44) Echt, C.S. and Schwartz, D. : Genetics, 99, 275 (1981)
- 45) Shure, M., Wessler, S., and Fedoroff, N. : Cell, 35, 225 (1983)
- 46) Sano, Y., Katsumata, M., and Okuno, K. : Euphytica, 35, 1 (1986)
- 47) Vos-Scheperkeuter, G.H., de Boer, W., Visser, R.G.F., Feenstra, W.J., and Witholt, B. : Plant Physiol., 82, 411 (1986)
- 48) N.V. フェドロフ : サイエンス, 14(8), 67 (1984)
- 49) Wessler, S.R. and Varagona, M.J. : Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 82, 4177 (1985)
- 50) Klösgen, R.B., Gierl, A., Schwarz-Sommer, Z., and Saedler, H. : Mol. Gen.

- Genet., 203, 237 (1986)
- 51) Lorenz, K. and Wright, B : Food Chem., 14, 27 (1984)
- 52) Koeppe, S., Rupnow, J.H., Walker, C. E., and Davis, A. : J. Food Sci., 50, 1519 (1985)
- 53) Bird, G.W.G. : Br. J. Exp. Pathol., 35, 252 (1954)
- 54) Pardoe, G.I., Bird, G.W.G., Uhlenbruck, G., Sprenger, L., and Heggen, M. : Z. Immunitaetsforsch., 140, 374 (1974)
- 55) Rinderle, S.J., Goldstein, I.J., Matta, K.L., and Ratcliffe, R.M. : X IV th Int. Carbohydr. Symp., Stockholm, Abstract. P.317 (1988)
- 56) Connor, J.K., Gartner, R.J.W., Runge, B.M., and Amos, R.N. : J. Exp. Agric. Anim. Husb., 20, 156 (1980)
- 57) Calderon de la Barca, A.M., Ochoa, J. L., and Valencia, M.E.V. : J. Food Sci., 50, 1700 (1985)
- 58) García, L.A., Alfaro, M.A., Bressani, R. : J. Agric. Food Chem., 35, 604 (1987)
- 59) Cheeke, R. and Bronson, J. : Proc. Amaranth Conf., 2nd, P.5 (1980)
- 60) Betschart, A.A., Irving, D.W., Shephard, A.D. and Saunders, R.M. : J. Food Sci., 46, 1181 (1981)
- 61) Pedersen, B., Kalinowski, L.S., and Eggum, B.O. : Plant Foods Human Nutr., 36, 309 (1987)
- 62) Pant, K.C. : Nutr. Rep. Int., 32, 1089 (1985)
- 63) Afolabi, A.O., Oke, O.L., and Umoh, I.B. : Nutr. Rep. Int., 24, 389 (1981)
- 64) Pedersen, B., Hallgren, L., Hansen, I., and Eggum, B.O. : Plant Foods Human Nutr., 36, 325 (1987)
- 65) Sánchez-Marroquín, A., Feria-Morales, A., Maya, S., and Ramos-Moreno, V. : J. Food Sci., 52, 1611 (1987)
- 66) Sánchez-Marroquín, A., Domingo, M.V., Maya, S. and Saldaña, C. : J. Food Sci., 50, 789 (1985)
- 67) Mendoza, C. and Bressani, R. : Cereal Chem., 64, 218 (1987)
- 68) Sánchez-Marroquín, A., Del Valle, F. R., Escobedo, M., Avitia, R., Maya, S., and Vega, M. : J. Food Sci., 51, 123 (1986)
- 69) Morales, E., Lembecke, J., and Graham, G. : J. Nutr., 118, 78 (1988)
- 70) García, L.A., Alfaro, M.A., and Bressani, R. : J. Am. Oil Chem. Soc., 64, 371 (1987)
- 71) Flores, H.E., Thier, A., and Galston, A.W. : Amer. J. Bot., 69, 1049 (1982)
- 72) Teutonico, R. and Knorr, D. : Food Technol., 38, 120 (1984)

(昭和63年10月11日受理)

### Summary

Grain amaranth, a lesser-known crop of the ancient Americas, is selected by the National Academy of Sciences' study of the United States, as one of 36 of the world's most promising food crops, since it has high protein content and well-balanced amino acid composition in the edible portion of its seeds. The chemical composition and nutritional evaluation of the grain are reviewed, with the emphasis placed on recent informations providing a more detailed examination of its starch and protein characteristics and prospects.